



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Szkło i ochrona przed hałasem

Biuletyn techniczny

Wprowadzenie

Od czasu do czasu wszechobecny hałas daje się we znaki każdemu z nas. Zarówno w niedzielne popołudnie, gdy siedzimy w domu, czytając dobrą książkę, w nocy, gdy leżymy w łóżku, a także gdy pracujemy, usiłując się skoncentrować a rozpraszają nas hałaśliwi sąsiedzi, szum pojazdów na ulicy, czy inne niepożądane dźwięki.

Przy stale rosnącej gęstości zaludnienia, intensywnym rozwoju przemysłu i natężenia ruchu pojazdów, trudno oprzeć się wrażeniu, że hałas staje się coraz dotkliwiej odczuwaną plagą i coraz trudniej jest go uniknąć. Coraz wyższemu poziomowi hałasu towarzyszy rosnąca świadomość jego negatywnego oddziaływania na nasze zdrowie, bo nawet w miejscach, które niegdyś były ciche, dźwięki codziennego życia wdzierają się w uszy, powodując stres. Prognozy na przyszłość pokazują, że natężenie ruchu drogowego i hałasu będą nadal wzrastać, przy jednoczesnym zmniejszaniu się naszej przestrzeni życiowej. Stąd też rośnie zainteresowanie sposobami ochrony ludzi przed hałasem, a tym samym przed powodowanym przezeń stresem, mogącym prowadzić do poważnych chorób.

Wiele czasu poświęcono badaniu zagadnień przenikania hałasu z otoczenia do wnętrz budynków oraz między sąsiadującymi ze sobą obszarami. Chcemy skoncentrować się tu na starannym doborze odpowiedniego rodzaju szkła, jako jednym ze sposobów częściowego rozwiązania tego problemu.

Czym jest dźwięk?

Z fizycznego punktu widzenia dźwięk jest zjawiskiem z obszaru fizyki falowej/drgań mechanicznych. Już 2000 lat temu rzymski architekt projektujący amfiteatry wykorzystywał obserwacje rozchodzenia się fal w wodzie do doskonalenia swych projektów.

Jeśli na przykład uderzymy w kamerton, usłyszymy jego drgania, ale ich nie zobaczymy. Drgania kamertonu przekazywane są cząsteczkom powietrza, a te przekazują je kolejnym cząsteczkom. Takie zachowanie można zademonstrować w wodzie. Drgania, o których tu mowa, są porównywalne z falami na wodzie, gdzie wysokość fali stanowi miarę natężenia dźwięku, zaś liczba fal



Rysunek 1: Dźwięk rozchodzi się podobnie jak fale w wodzie.

odpowiada częstotliwości dźwięku, tj. im więcej fal, tym wyższa częstotliwość. Częstotliwość definiowana jest jako liczba okresów drgań na sekundę i wyrażana jest w hercach. Jednostka ta opisuje częstotliwość lub wysokość dźwięku, a jej skrótem jest Hz.

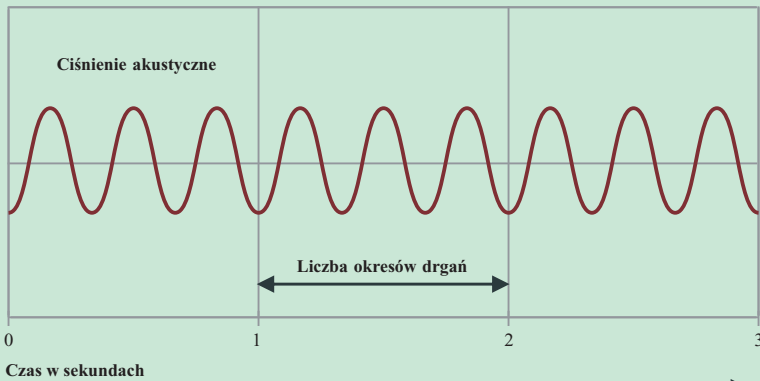
W muzyce w stroju koncertowym, dźwięk A (najbliższy powyżej środkowego C) ma częstotliwość 440 Hz, czyli 440 drgań na sekundę. Jeśli częstotliwość zostanie podwojona do 880 Hz, dźwięk podniesie się o oktawę przy stroju równomiernie temperowanym.

Ucho młodego człowieka przystosowane jest do odbioru fal o częstotliwości od 20 do 20000 Hz i może wykrywać ciśnienie akustyczne a ściślej fluktuacje ciśnienia w zakresie od 10^{-5} Paskali [Pa], tj. 0,00001 Pa (dolny próg słyszalności) do 10^2 Pa, tj. 100 Pa (próg bólu), przekazując je mózgowi jako odczucie głośności. Wraz z wiekiem, z przyczyn naturalnych lub na skutek uszkodzenia słuchu, maleje zakres słyszalnych częstotliwości z obydwu końców skali.

Relacja pomiędzy najcichszym i najgłośniejszym hałasem określana jest stosunkiem wynoszącym 1 do 10 milionów. Ponieważ posługiwanie się tak rozległym zakresem jest bardzo niewygodne, w praktyce poziom ciśnienia akustycznego lub, w skrócie, poziom dźwięku L, wyrażany jest w skali logarytmicznej, która dokonuje konwersji ciśnienia akustycznego na bardziej wygodną miarę, znaną jako skala decybeli [dB]. Standardowy zakres mieści się w przedziale od 0 dB (próg słyszalności) do około 130 dB (próg bólu). Na Rysunku 3 pokazano kilka przykładów.

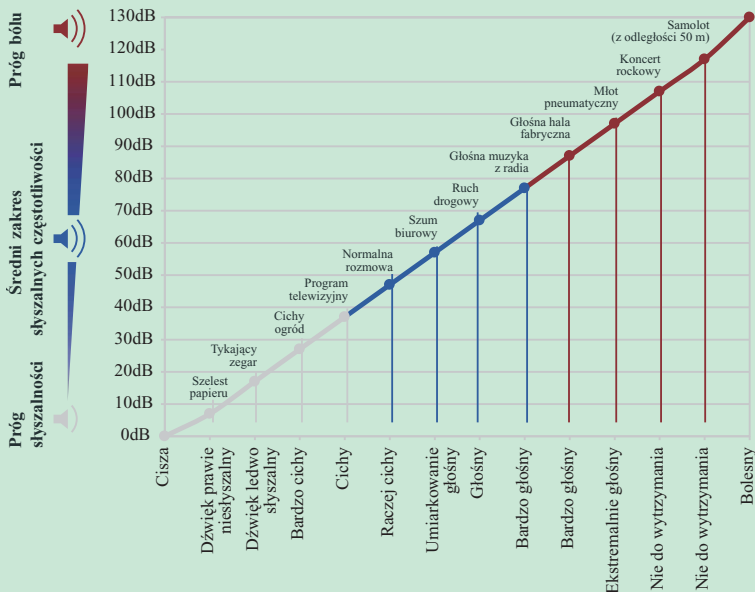
Istnieje nieskończenie wiele sposobów wytwarzania hałasu, a każdy hałas może składać się z dźwięków o różnym natężeniu przy różnych częstotliwościach. Przykładowo, w przypadku samolotu istnieje wyraźna różnica dźwięku wytwarzanego przez samoloty z napędem śmigłowym, współczesne samoloty napędzane dwuprzepływowymi silnikami odrzutowymi oraz samoloty wojskowe. Jeśli zależność między natężeniem dźwięku a jego częstotliwością przedstawimy w postaci graficznej, to wykresy te będą się wyraźnie od siebie różnić. Przy ograniczaniu hałasu różnice te należy wziąć pod uwagę, ponieważ różne rodzaje szkła wykazują różne tłumienie dla różnych częstotliwości. W celu uzyskania największych korzyści można dopasować charakterystykę szkła do danego typu hałasu i selektywnie wytłumić najbardziej nieprzyjemne dźwięki. Osoby mieszkające w sąsiedztwie prywatnego pasa startowego użytkowanego przez lekkie

Definicja częstotliwości



Rysunek 2: Definicja częstotliwości.

Źródła hałasu i ich percepcja



Rysunek 3: Źródła hałasu i ich percepcja.

(Źródło: Kuraray, Troisdorf)

samoloty, mają zupełnie inny problem niż ci, którzy sąsiadują z wojskową bazą lotniczą. Rozwiązanie problemu hałasu będzie polegać na zastosowaniu szyb o różnych konfiguracjach.

Poziom hałasu można określać różnymi metodami. W przypadku dużych lub trudnych projektów można zlecić konsultantom akustycznym wykonanie analizy obciążenia hałasem miejsca projektowanego obiektu. Do pomiaru i uśrednienia poziomu hałasu przy różnych częstotliwościach w przedziale czasowym stosują oni czułe urządzenia. Analizy te dostarczają precyzyjnych danych na temat każdej częstotliwości, jaką należy wytłumić. W raportach informacje te przedstawiane są często w postaci tabelarycznej, z rozbiem hałasu na częstotliwości w pasmach oktawowych, np.

Częstotliwość [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Ciśnienie akustyczne [dB]	30	36	42	44	48	50

Dźwięk można mierzyć w danym miejscu, blisko źródła hałasu lub w pewnej odległości między źródłem a wybranym miejscem. W przypadku, gdy dane tego miejsca nie są dostępne, dźwięk można skorygować uwzględniając odległość.

Im dalej znajduje się źródło dźwięku, tym słabsze jest jego oddziaływanie.

Przykład: Słabnięcie hałasu wraz z odległością.

Hałas ruchu drogowego maleje o około 3 dB wraz z podwojeniem odległości prostopadłe do drogi. Jeśli na przykład L stanowi wyrażony w dB poziom hałasu w odległości 5 m, to poziom ten będzie obniżał się wraz z odległością w następujący sposób:

5 m	L	dB
10 m	(L-3)	dB
20 m	(L-6)	dB
40 m	(L-9)	dB
80 m	(L-12)	dB
160 m	(L-15)	dB

Poziom hałasu często mierzy się w przedziale czasowym i uśrednia się w celu usunięcia nieproporcjonalnego wpływu odizolowanego głośnego bodźca dźwiękowego o charakterze wyjątkowym, np. dźwięku klaksonu samochodowego. Poziom

energii hałasu może być określony jako długookresowy, ważony według charakterystyki A, średni poziom dźwięku nazywany poziomem dzień-wieczór-noc (L_{den}). Do projektowania przyjmuje się z reguły nie odizolowane głośne dźwięki a właśnie poziom hałasu L_{den} . Dlatego też celem projektu powinna być redukcja poziomu hałasu ogólnego a nie hałasów mających charakter sporadyczny. W przeciwnym razie kryteria ograniczenia hałasu stałyby się ekstremalne. W niektórych zastosowaniach właściwym może być przyjęcie tylko części z trzech przedziałów czasowych lub wprowadzenie dodatkowego wskaźnika dla hałasu, który pojawia się tylko przez krótki okres.

Niekiedy urządzenia do pomiaru hałasu umożliwiają rejestrację jego poziomu ważonego według charakterystyki A. Tam, gdzie wyznaczono limity hałasu w pomieszczeniach, często są one wyrażane w dB (A) lub L_{Aeq} . Waga A stanowi korektę hałasu dla każdej częstotliwości według znormalizowanej krzywej. Korekta ta uwzględnia fakt, że ludzki słuch nie reaguje tak samo na takie samo natężenie dźwięku dla każdej częstotliwości. Oznacza to, że niektóre częstotliwości wydają się nam głośniejsze niż inne, chociaż ich energia jest taka sama. Ważne jest, aby uwzględniać tę charakterystykę słuchu człowieka zamiast podejmować decyzje oparte na wskazaniach czułych przyrządów, mierzących dźwięki w sposób absolutny.

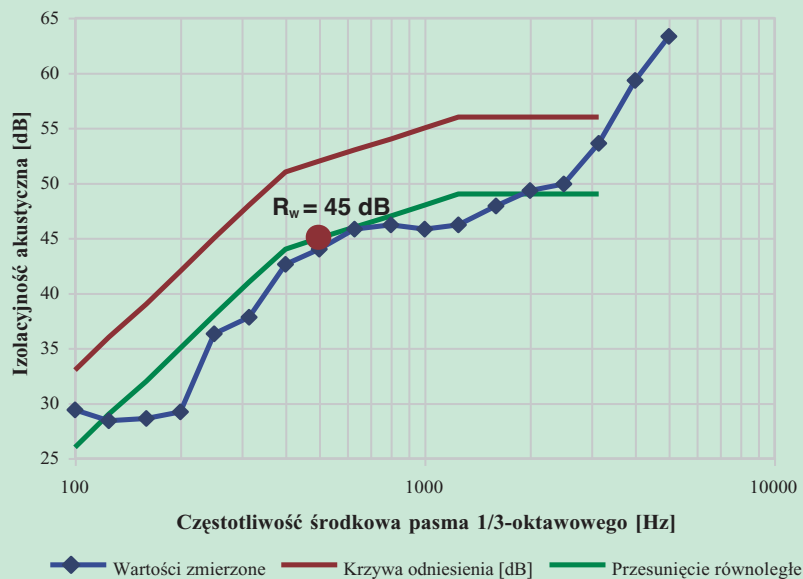
Jeśli nie przeprowadzono analizy akustycznej otoczenia, istnieją przykłady wcześniejszych analiz tego rodzaju, umożliwiające projektantom przyjęcie typowych poziomów hałasu generowanego przez jego najbardziej rozpowszechnione źródła, np. ruch drogowy, muzykę, mowę, pociągi, samoloty itp.

W sytuacji, gdy informacje dla pasm oktawowych lub 1/3-oktawowych nie są dostępne, istnieje szereg skrótowych wyrażeń używanych do opisu hałasu. Zazwyczaj są to wskaźniki R_w i R_{ms} podające informacje w formie skondensowanej. Dla określenia parametrów szkła, skrótowce wyznacza się, porównując wykres tłumienia dźwięku w funkcji jego częstotliwości z krzywymi wzorcowymi, aż do uzyskania najlepszego ich dopasowania. Redukcja hałasu przy określonej częstotliwości na krzywej wzorcowej dostarcza wskaźniki R_w i R_{ms} .

Gdy poziom hałasu jest znany, można tak dobrać charakterystykę szkła, aby uzyskać wymagany poziom hałasu szczątkowego. Dla prawidłowości obliczeń ważne jest, aby wskaźniki pomiarowe były dopasowane, albo ujęte w tej samej skali.

Określenie wartości izolacyjności akustycznej R_w

10 mm Pilkington Optifloat™ – 16 mm powietrze – 9,1 mm Pilkington Optiphon™



Rysunek 4: Określenie izolacyjności akustycznej.

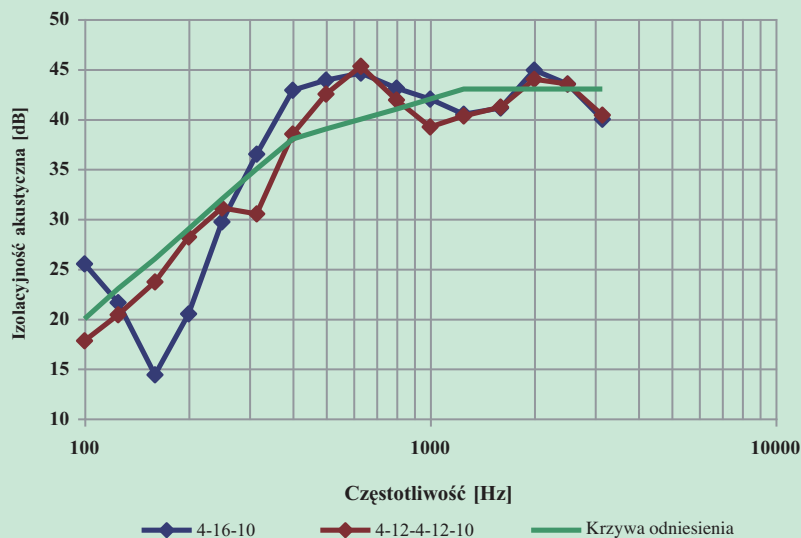
* szkło wcześniej znane pod nazwą Pilkington Optilam™ Phon

Dla tych, którzy mają ochotę zagłębić się bardziej

Kolorem niebieskim pokazano wartości zmierzone dla szyby zespolonej złożonej ze szkła Pilkington Optifloat™ o grubości 10 mm, przestrzeni powietrznej o szerokości 16 mm i szkła Pilkington Optiphon™* o grubości 9,1 mm. Krzywą odniesienia według normy EN 717, Rozdział 4, zaznaczono kolorem czerwonym. Tę właśnie krzywą odniesienia przesuwamy skokowo co 1 dB w kierunku krzywej pomiarowej, aż suma niekorzystnych odchyżeń będzie możliwie jak największa lecz nie przekroczy wartości 32 dB. Uwzględniane są tylko te wartości pomiarowe, które są mniejsze od wartości odniesienia. Wartość na osi rzędnych tej przesuniętej krzywej odniesienia (zielona krzywa na Rys. 4) przy częstotliwości 500 Hz jest szukaną wartością R_w i w tym przykładzie wynosi ona 45 dB. Kształt krzywej odniesienia uwzględnia opisaną wcześniej naturę ludzkiego ucha, która sprawia, że nasz słuch jest bardziej wrażliwy na niektóre częstotliwości. Charakter naszego narządu słuchu powoduje, że odczuwamy dźwięk o częstotliwości tysiąca herców jako głośniejszy niż dźwięk o częstotliwości stu herców, pomimo iż natężenie dźwięku jest takie samo. Krzywa odwzorowuje więc tę szczególną zależność między amplitudą ciśnienia dźwięku a głośnością odczuwaną.

Porównanie dwóch szyb zespolonych o różnej budowie, gdzie

$R_w = 39$ dB



Rysunek 5: Porównanie dwóch szyb zespolonych o różnej budowie.

Określenie izolacyjności akustycznej różnych rodzajów szkła

Ponieważ każdorazowe wykonywanie pomiarów dla każdego systemu w miejscu jego zastosowania byłoby czasochłonne i kosztowne, wszystkie widma tłumienia dźwięku są rejestrowane w warunkach znormalizowanych. Izolacyjność akustyczna jest w bardzo dużym stopniu zależna od częstotliwości. Aby uniknąć pracy z całym zestawem danych, wykres można zredukować do jednej liczby. Znormalizowaną procedurę opisano przy Rysunku 4. Wynikiem jest jedna liczba – w tym przypadku $R_w = 45$ dB – którą można stosować w dalszych obliczeniach. Niedogodnością takiej jednoliczbowej specyfikacji jest to, że taki sam wynik można otrzymać przy użyciu krzywych o zupełnie innych kształtach, co widać na Rysunku 5. Bardziej wyrazistą specyfikację jednoliczbową można otrzymać przy użyciu zindywidualizowanych krzywych odniesienia, opracowanych dla konkretnych wymagań.

Takimi „przypadkami specjalnymi” są widmowe wskaźniki adaptacyjne C i C_{tr}. Uwzględniają one różne widma częstotliwości hałasu mieszkaniowego i hałasu drogowego, umożliwiając tym samym znalezienie w prosty sposób odpowiednich rozwiązań dla rozpatrywanego problemu. Wskaźnik C uwzględnia następujące źródła hałasu:

- czynności mieszkaniowe (rozmowa, muzyka, radio, TV),
- zabawy dzieci,
- ruch kolejowy ze średnią i dużą prędkością,
- ruch drogowy na autostradach >80 km/h,
- samoloty odrzutowe w małej odległości,
- zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas o średniej i wysokiej częstotliwości.

Wskaźnik C_{tr} uwzględnia takie źródła hałasu, jak:

- ruch uliczny miejski,
- ruch kolejowy z małymi prędkościami, śmigłowce,
- samoloty odrzutowe w dużej odległości, muzyka dyskotekowa,
- zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas o niskiej i średniej częstotliwości.

Zatem, jeśli projektowany budynek znajduje się w dużym mieście, w bezpośrednim sąsiedztwie głównej drogi, wówczas najbardziej odpowiedni będzie wskaźnik C_{tr}. Jeśli natomiast budynek projektowany jest w bezpośredniej bliskości autostrady, wtedy najbardziej właściwy będzie wskaźnik C.

Zasady obliczeń

Mimo iż użycie skali decybelowej daje wygodne i poręczne liczby, to wiąże się też z nią stosowanie dość niezwykłych „zasad obliczeniowych”. Jeśli natężenie źródła hałasu zostanie podwojone, wówczas łączna liczba decybeli zwiększa się tylko o 3 dB. Dziesięciokrotne zwiększenie hałasu, np. dziesięć wentylatorów elektrycznych zamiast jednego, powoduje jedynie podwojenie się poziomu hałasu, tj. wzrost o 10 dB.

Dla uzupełnienia tych wyjaśnień należałoby także wspomnieć, że spadek poziomu hałasu o połowę nie jest odczuwany przez ludzkie ucho jako zmniejszenie się o połowę natężenia dźwięku.

Generalnie obowiązują tu następujące zasady:

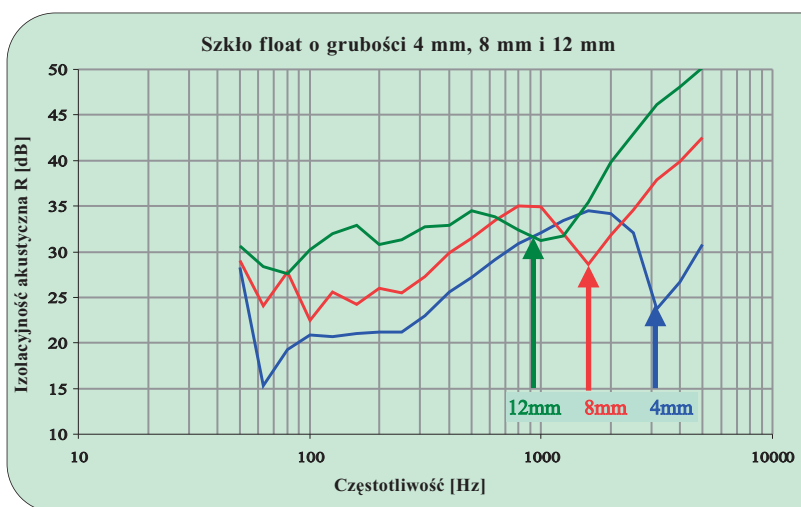
- różnica 1 dB jest praktycznie niezauważalna;
- różnica 3 dB jest ledwo odczuwalna;
- różnica 5 dB stanowi wyraźną różnicę;
- różnica 10 dB oznacza zmniejszenie o połowę/podwojenie się poziomu hałasu.

Różne rodzaje izolacji akustycznej

Masa

Jak już wspomniano wcześniej, dźwięk rozchodzi się w postaci fal poprzez wzbudzenie drgań cząstek ośrodka propagacji. Ze względu na ten mechanizm przekazywania, hałas podlega naturalnemu tłumieniu zależnemu od masy ośrodka przenoszącego drgania. Upraszczając – im większa masa znajduje się między nadajnikiem a odbiornikiem, tym silniejsze tłumienie.

W związku z tym, najprostszym sposobem zwiększenia izolacyjności akustycznej szkła jest stosowanie jego dużej ilości. Tak więc pojedyncza tafła szkła o grubości 12 mm ma wartość R_w = 34 dB, podczas gdy ta sama wartość dla tafli o grubości 4 mm wynosi jedynie 29 dB.



Rysunek 6: Wpływ grubości tafli na częstotliwość koincydencji.

Częstotliwość koincydencji i asymetria

Jeśli porównamy widma szkła float o grubości 4 mm, 8 mm i 12 mm, to zauważymy, że w każdym z tych widm występuje spadek w jego prawej części.

Ten spadek parametrów przy pewnych częstotliwościach lub częstotliwościach koincydencji występuje przy częstotliwości, która odpowiada naturalnej częstotliwości rezonansowej produktu. Tak zwana częstotliwość koincydencji jest cechą charakterystyczną materiału i w przypadku szkła zależy od jego grubości.

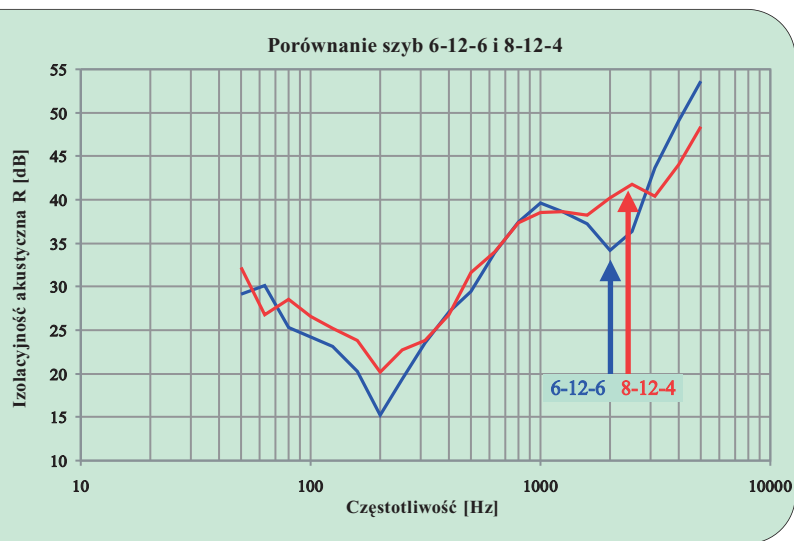
Według reguły opartej na doświadczeniu:

$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

gdzie d – grubość materiału

Zgodnie z tym wzorem, częstotliwość koincydencji f_g wynosi 3000 Hz dla szkła float o grubości 4 mm, 1500 Hz dla szkła float o grubości 8 mm i 1000 Hz dla szkła float o grubości 12 mm, co odpowiada bardzo dobrze widmu pokazanemu na Rysunku 6.

W celu uniknięcia tego problemu można różnicować grubości poszczególnych tafli szkła w szybie zespolonej tak, aby gdy jedna tafla znajduje się w swej częstotliwości koincydencji, inna znajdowała się poza nią i nadal tłumiła dźwięk. Takie asymetryczne konstrukcje mogą znacznie zmniejszyć spadek tłumienia hałasu w obszarze koincydencji, co pokazano na Rysunku 7. Pożądana jest różnica grubości szyb wynosząca 30%. Nie tylko zmniejsza ona spadek tłumienia, ale także przesuwają go w górę skali, co jest korzystne, ponieważ im wyższa częstotliwość tym skuteczniej szkło obniża ogólny poziom hałasu.



Rysunek 7: Asymetryczna konstrukcja szyb opracowana w celu zmniejszenia koincydencji.

Odstęp między szybami / wypełnienie gazem

Inną metodą ograniczenia transmisji hałasu są zmiany odległości między szybami. W przypadku tradycyjnych szyb zespolonych odstęp między taflami szkła jest ograniczony w celu utrzymania optymalnych parametrów termicznych. Jest on jednak niedostateczny dla znacznego polepszenia izolacyjności akustycznej. Przy oszkleniu podwójnym (np. okna skrzynkowe) pojawia się możliwość uzyskania relatywnie większego odstępu między szybami, a przestrzeń powietrzna przekraczająca 60 mm zaczyna już zapewniać rzeczywistą poprawę parametrów akustycznych. Ten pozytywny efekt można jeszcze zwiększyć przez wypełnienie przestrzeni między szybami płytkami dźwiękoizolacyjnymi.

Wypełnienie komory szyby zespolonej gazem daje marginalny efekt. Zastosowanie argonu nie daje praktycznie żadnej poprawy. Krypton, dzięki swej gęstości, zapewnia niewielką poprawę tłumienia dźwięku, wynoszącą do 1 dB. Do celów izolacji dźwiękowej nadawałby się sześciofluorek siarki (SF_6), który jest stosunkowo ciężki. Ma on jednak dwie wady. Po pierwsze, pogarsza wartość współczynnika przenikania ciepła, a po drugie gaz ten

ma ekwiwalent CO_2 wynoszący 22 800, a tym samym znacznie przyczynia się do efektu cieplarnianego. Właśnie z tych powodów stosowanie gazu SF_6 jest zakazane w znacznej części Europy.

Odsprężanie / tłumienie

Stwierdziliśmy już, że grubość szkła wpływa na tłumienie hałasu, a stosowanie różnych grubości tafli szkła w szybie zespolonej stanowi przydatną metodę jego poprawy. Zwiększanie masy produktu, czy stosowanie dużych odstępów między szybami może być niepożądane ze względu na ograniczenia ciężaru i przestrzeni. Na szczęście istnieją sposoby poprawy tłumienia hałasu za pomocą stosunkowo cienkich tafli szkła przez zapewnienie właściwości tłumiących bezpośrednio szkła. Dzięki z laminowaniu szyb za pomocą warstwy zwykłej folii PVB możemy zredukować spadek tłumienia, spowodowany częstotliwością koincydencji i przesunąć częstotliwość, przy której występuje ten spadek. Dodanie laminowanego szkła Pilkington **Optilam**[™] do konstrukcji szyb zespolonej może zapewnić znaczny wzrost izolacyjności szczególnie wtedy, gdy poziom hałasu jest wysoki przy częstotliwości koincydencji dla szkła monolitycznego. Szyby zespolone mogą zapewnić bardzo dobre wyniki, wykorzystując kombinację szkła monolitycznego (Pilkington **Optifloat**[™]) oraz szkła laminowanego Pilkington **Optilam**[™].

Do zastosowań, w których stawiane są jeszcze wyższe wymagania przeznaczony jest szkło Pilkington **Optiphon**[™]. Produkt ten wykorzystuje w szkło laminowanym specjalne warstwy, które dodatkowo odsprężają akustycznie obydwie tafle szkła, przy jednoczesnym zapewnieniu typowej dla szyb laminowanych wytrzymałości na uderzenia. Jeśli spojrzymy na profil krzywej dla szkła Pilkington **Optiphon**[™], dostrzeżemy, że prawie zupełnie wyeliminowano w nim spadek tłumienia, występujący przy częstotliwości koincydencji. Do określonej charakterystyki dźwiękowej można dopasować odpowiedni typ produktu, który umożliwi uzyskanie bardzo wysokich parametrów użytkowych bez radykalnego zwiększenia grubości szkła. Pozwoli to na większą elastyczność przy projektowaniu bez poświęcenia innych funkcji oszklenia. W lewej części widma widoczny jest dalszy spadek. Jest to tak zwana częstotliwość rezonansowa, tj. częstotliwość, przy której cały komponent wpada w drgania rezonansowe, na skutek czego szczególnie dobrze przenosi drgania akustyczne i kiepsko je tłumi. Izolacyjność akustyczną można poprawić przesuwając częstotliwość rezonansową komponentu

do innej częstotliwości (dalej od uciążliwej częstotliwości lub do obszaru, w którym ludzki słuch jest mniej czuły). Efekt ten osiągany jest za pomocą „odsprężenia” szyby zespolonej, dzięki zastosowaniu w niej szkła, które jest zarazem zwarte i miękkie. Można to osiągnąć przez połączenie dwóch tafli szkła specjalnymi (miękkimi) odlewanyymi żywicami lub nowoczesnymi warstwami PVB, opracowanymi specjalnie do tych zastosowań.

Ważne przypomnienie

Celem doboru produktu o odpowiedniej charakterystyce akustycznej jest stworzenie wewnątrz budynku komfortowego otoczenia, wolnego od stresu powodowanego przenikającym z zewnątrz hałasem.

Poziom hałasu szczałkowego nie jest jednakowy dla wszystkich rodzajów pomieszczeń, a dla większości z nich opracowano krajowe wytyczne. Na przykład, w bibliotece hałas tła powinien wynosić około 30 dB, a sypialnia różni się pod tym względem od salonu. Zerowy poziom hałasu jest niepożądany i zasadniczo występuje jedynie w komorach bez-echowych, przeznaczonych do badań. Zerowy poziom hałasu może być niesamowitym doświadczeniem, ponieważ ucho dostraja się do innych dźwięków, które stają się wtedy mocno uciążliwe. Jako wstępną wskazówkę można wykorzystać następujące równanie:

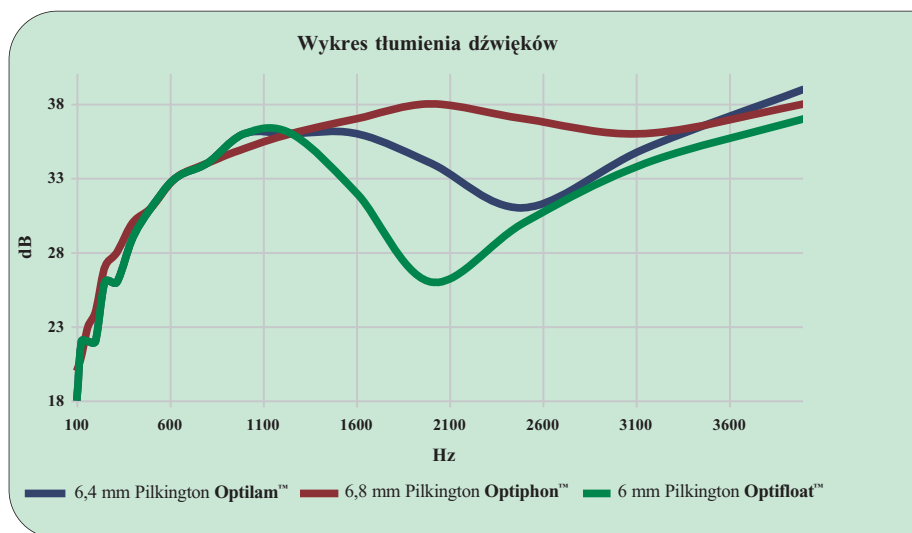
$$\text{źródło hałasu} - \text{tłumienie budynku} = \text{hałas szczałkowy}$$

Należy zauważyć, że cały budynek musi mieć pożądane właściwości akustyczne, a samo szkło nie rozwiąże wszystkich problemów. W przeciwieństwie do utraty lub zysku ciepła, których wielkość jest zazwyczaj proporcjonalna do pola powierzchni, dźwięk potrzebuje jedynie małej szczeliny, aby dostać się do budynku. Przy redukcji hałasu do 35 dB zapewnionej przez szkło rama okienna bez otworów wentylacyjnych powinna mieć podobne parametry. Powyżej tego poziomu, okna przewidziane do redukcji hałasu powinny dotrzymywać kroku parametrom szkła, aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie końcowego produktu.

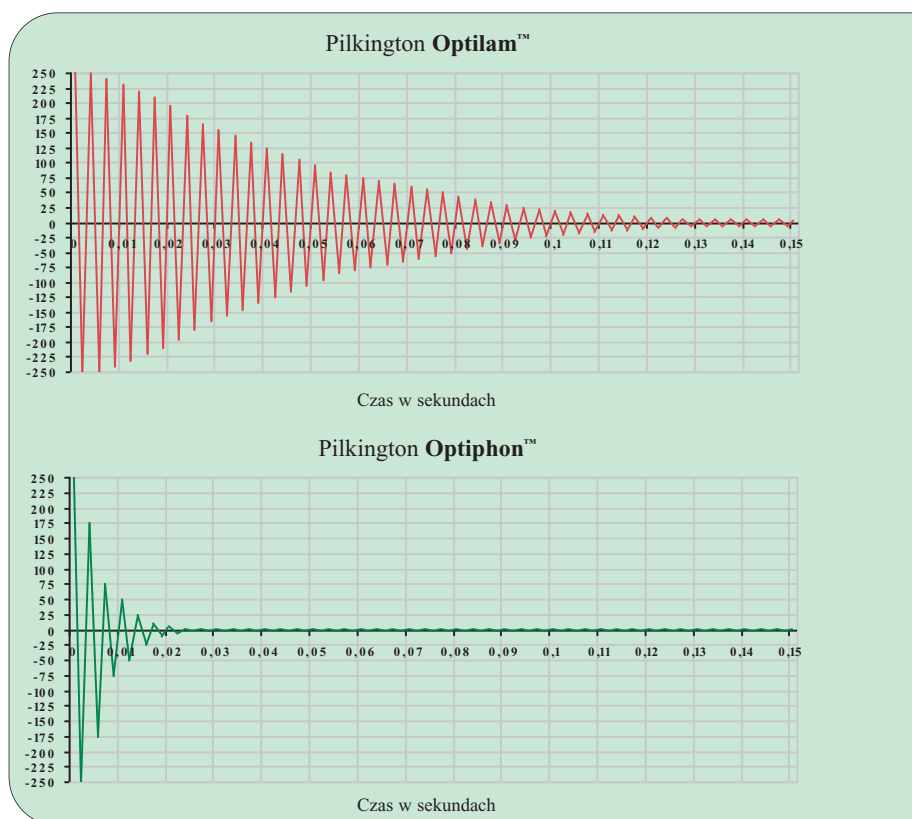
Podsumowanie

Istnieje pięć czynników, które można wykorzystywać łącznie, a które mogą mieć pozytywny wpływ na izolacyjność dźwiękową szyb zespolonych:

1. Masa szkła
2. Asymetryczna konstrukcja
3. Duży odstęp pomiędzy szybami
4. Stosowanie alternatywnych gazów
5. Stosowanie specjalnego szkła laminowanego



Rysunek 8: Ilustracja tłumienia dźwięków.



Rysunek 9: Ilustracja pokazuje znaczną różnicę między szkłem Pilkington Optilam™ a Pilkington Optiphon™ pod względem ich właściwości w zakresie tłumienia dźwięków.

Pilkington **Optiphon™** lub produktów laminowanych żywicami.

W zastosowaniach o wyższych wymaganiach w zakresie izolacji akustycznej, nowoczesne laminowane bezpieczne szyby dźwiękochłonne takie jak Pilkington **Optiphon™**, zaczynają wyraźnie dominować nad szybami żywicowanymi, ponieważ pozwalają one na osiągnięcie wartości R_w przekraczających nawet 50 dB i mogą być dostarczane w dużych wymiarach. Kompatybilność folii PVB z innymi materiałami jest dobrze rozpoznana, a korzyści takie jak bezpieczeństwo użytkownika w przypadku oszkleń ponad głowami oraz ochrona przed uderzeniami są tu dodatkowym atutem.

Niniejszy dokument opracowano i przedstawiono w dobrej wierze. Firma Pilkington Group Limited niniejszym oświadcza, że nie ponosi żadnej odpowiedzialności za jakiegokolwiek błędy lub pominięcia, jakie się w nim znalazły i za wszelkie konsekwencje polegania na jego treści.



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington Polska Sp. z o.o.

ul. Portowa 24, 27-600 Sandomierz, tel.: 015 832 30 41, fax: 015 832 39 25

Pilkington Polska – Biuro Doradztwa Technicznego

ul. Wołoska 18 (Curtis Plaza), 02-675 Warszawa, tel.: 022 848 98 22, fax: 022 640 29 87

www.pilkington.pl